



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000277449 A**(43) Date of publication of application: **06.10.00**

(51) Int. Cl.

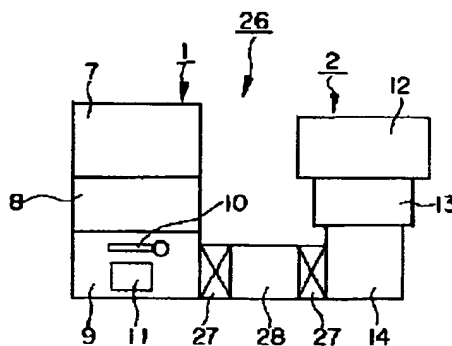
H01L 21/265
H01L 21/26
(21) Application number: **11076933**(71) Applicant: **NEC CORP**(22) Date of filing: **19.03.99**(72) Inventor: **MATSUDA TOMOKO**
**(54) MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE
 AND IMPURITY INJECTION ACTIVATION
 PROCESSING DEVICE**
(57) Abstract:

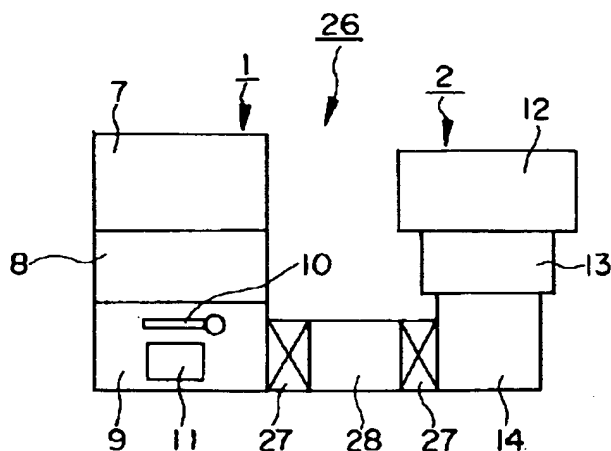
PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of manufacturing a semiconductor device suitable for restraining a diffusion layer from increasing in sheet resistance due to segregation of impurities and forming an impurity diffusion layer of shallow junction depth without contaminating a substrate.

SOLUTION: A silicon oxide film is formed on the surface of a silicon substrate, the silicon substrate is thermally treated in a nitrogen gas atmosphere which contains a small amount of oxygen gas to reduce the silicon oxide film to 2.5 nm or below in thickness. Thereafter, ions are implanted into the silicon substrate through the silicon oxide film. After implantation of ions, the silicon substrate is annealed with the silicon oxide film left on its surface. In this method, an impurity injection activation processing device 26 where a reduced- pressure RTP(Rapid Thermal Processing) device 1 and an ion implantation device

2 are connected with a wafer transfer chamber 28 is used, and the silicon substrate is subjected to a series of treatments composed of pre-treatment, ion implantation, and annealing.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO





【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン基板表面に不純物拡散層が形成された半導体装置の製造方法であって、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記シリコン酸化膜を薄膜化する前処理工程と、該前処理工程を経た後のシリコン基板に対して前記薄膜化したシリコン酸化膜を通して不純物イオンを注入するイオン注入工程と、該イオン注入工程を経た後、表面に前記シリコン酸化膜が残ったシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】 前記前処理工程で用いる熱処理装置と前記アニール工程で用いる熱処理装置が同一の急速熱処理装置であることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項3】 シリコン基板表面に不純物拡散層が形成された半導体装置の製造方法であって、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して水素ベーク装置を用いて水素ガスを含むガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記シリコン酸化膜を薄膜化する前処理工程と、該前処理工程を経た後のシリコン基板に対して前記薄膜化したシリコン酸化膜を通して不純物イオンを注入するイオン注入工程と、該イオン注入工程を経た後、表面に前記シリコン酸化膜が残ったシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項4】 前記イオン注入工程において、2.5nm以下の膜厚に薄膜化した前記シリコン酸化膜を通して、前記不純物イオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項5】 前記イオン注入工程において、下記

(1) 式で表される膜厚dに薄膜化した前記シリコン酸化膜を通して、砒素イオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

$$d \leq V / 1.3 \quad \cdots (1)$$

(d:シリコン酸化膜の膜厚(nm)、V:加速エネルギー(keV))

【請求項6】 前記イオン注入工程において、下記

(2) 式で表される膜厚dに薄膜化した前記シリコン酸化膜を通して、ボロンイオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

$$d \leq V / 0.75 \quad \cdots (2)$$

(d:シリコン酸化膜の膜厚(nm)、V:加速エネルギー(keV))

【請求項7】 前記イオン注入工程において、下記

(3) 式で表される膜厚dに薄膜化した前記シリコン酸化膜を通して、フッ化ボロンイオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

$$d \leq V / 1.0 \quad \cdots (3)$$

(d:シリコン酸化膜の膜厚(nm)、V:加速エネルギー(keV))

【請求項8】 シリコン基板表面に不純物拡散層が形成された半導体装置の製造方法であって、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記シリコン酸化膜を除去する前処理工程と、該前処理工程を経た後のシリコン基板の表面に直接不純物イオンを注入するイオン注入工程と、該イオン注入工程を経た後、表面が露出した状態のシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項9】 前記前処理工程で用いる熱処理装置と前記アニール工程で用いる熱処理装置が同一の急速熱処理装置であることを特徴とする請求項8に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項10】 シリコン基板表面に不純物拡散層が形成された半導体装置の製造方法であって、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して水素ベーク装置を用いて水素ガスを含むガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記シリコン酸化膜を除去する前処理工程と、該前処理工程を経た後のシリコン基板の表面に直接不純物イオンを注入するイオン注入工程と、該イオン注入工程を経た後、表面が露出した状態のシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、前記不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記イオン注入工程において、前記不純物イオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することを特徴とする請求項8ないし10のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記アニール工程において、前記熱処理を酸素含有量100ppm以下の窒素雰囲気中で行うことを特徴とする請求項8ないし11のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記アニール工程において、前記熱処理を1000℃ないし1100℃の温度で行うことを特徴とする請求項12に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項14】 前記イオン注入工程における不純物イ

オンが、ボロンまたはフッ化ボロンであることを請求項8ないし13のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項15】 前記前処理工程において、内部を減圧状態とした急速熱処理装置を用いて前記熱処理を行うことを特徴とする請求項1ないし14のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項16】 イオン注入工程の前処理としてのシリコン酸化膜の薄膜化または除去に急速熱処理装置を用いることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項17】 酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中の減圧下で被処理基板に対して熱処理を行う急速熱処理装置と、減圧下で前記被処理基板に対してイオン注入を行うイオン注入装置と、前記急速熱処理装置と前記イオン注入装置との間を連結し、これら装置間で前記被処理基板を減圧状態を維持したまま搬送する基板搬送部とを有することを特徴とする不純物注入活性化処理装置。

【請求項18】 水素ガスを含むガス雰囲気中の減圧下で被処理基板に対して熱処理を行う水素バーク装置と、減圧下で前記被処理基板に対してイオン注入を行うイオン注入装置と、酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中の減圧下で前記被処理基板に対して熱処理を行う急速熱処理装置と、前記水素バーク装置と前記イオン注入装置との間を連結し、これら装置間で前記被処理基板を減圧状態を維持したまま搬送する第1の基板搬送部と、前記イオン注入装置と前記急速熱処理装置との間を連結し、これら装置間で前記被処理基板を減圧状態を維持したまま搬送する第2の基板搬送部とを有することを特徴とする不純物注入活性化処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置の製造方法および不純物注入活性化処理装置に関し、特に、浅い接合深さを持つ不純物拡散層の形成方法、およびその形成に用いる不純物注入と活性化処理が連続処理可能な装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの製造工程において、例えばシリコン基板内に不純物拡散層を形成する際には、シリコン基板の表面に対して不純物イオンを注入し、その後、基板表面を露出した状態でアニールを行う方法が従来から行われていた。ところが、この方法を採用すると、イオン注入時に目的とするもの以外の不純物が注入されたり、基板表面にダメージが入る、といった問題があった。

【0003】そこで、この問題を解消するために、基板に対して直接イオンを注入するのではなく、基板上にシリコン酸化膜を形成し、このシリコン酸化膜を通してイオンを注入するという方法が採られるようになった（以

下、本明細書では、イオン注入時に基板表面を覆う酸化膜のことを「スルー酸化膜」と呼ぶこともある）。具体的な方法の一例として、シリコン基板表面に例えば100nm以上の膜厚のシリコン酸化膜を形成し、このシリコン酸化膜を通して400keV程度の加速エネルギーでイオン注入を行う。その後、シリコン酸化膜を残したままの状態、またはシリコン酸化膜を一旦除去した後に再度シリコン酸化膜を形成した状態で、窒素雰囲気下でアニールを行うことによって、不純物拡散層を形成する（以下、本明細書では、アニール時に基板表面を覆う酸化膜のことを「カパー酸化膜」と呼ぶこともある）。この方法によれば、スルー酸化膜の存在により、目的のイオン以外のイオンの注入を防止し、基板のダメージも防止することができる。この種の方法は、例えば特開昭58-96763号公報に開示されている。

【0004】しかしながら、上記のいずれの方法を用いた場合も、不純物拡散層のシート抵抗が上昇してしまい、所望の抵抗値が得られないという問題があった。この問題について本発明者が検討したところ、シート抵抗の上昇は注入された不純物がシリコン酸化膜中に偏析するのが原因であることが判明した。イオン注入時にシリコン酸化膜を形成する方法では、注入された不純物がアニール時にシリコン酸化膜中に偏析し、拡散層の不純物濃度が低下する。また、シリコン酸化膜を形成せずに基板表面に直接イオン注入を行う方法においても、従来技術では基板表面の荒れを防止するために、数%の酸素を含有した窒素雰囲気下でアニールしており、アニール中に基板表面に酸化膜が形成される。そのため、酸化膜を形成した状態でアニールを行った場合と同様に、不純物の偏析が発生し、拡散層の不純物濃度が低下する。従来方法におけるシート抵抗の上昇は、以上の理由によるものである。

【0005】また、現在では半導体素子の微細化に伴い、より浅い接合を持つ不純物拡散層が要求されるようになってきている。この要求を満たすためには、イオン注入時の加速エネルギーを低くする、具体的には3keV以下とする必要がある。ところが、このような低い加速エネルギーとした場合、スルー酸化膜を通してイオン注入を行う方法では、接合深さを十分に浅くすることが困難なうえ、上述のシート抵抗の増大がより顕著になるという問題があった。表1に、ボロン注入時のスルー酸化膜の有無、カパー酸化膜の有無、イオン注入条件とシート抵抗値との関係を調べた結果を示す。この表から明らかなように、ボロンの注入エネルギーが小さい程、スルー酸化膜形成による抵抗値の増大が顕著になっている。

【0006】

【表1】

| イオン打ち込み時の スルー酸化膜の有無 | なし | 有り 2.5 nm | 有り 50 nm | なし |
|---|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| アニール時の カバー酸化膜の有無 | なし | 有り (スルー酸化膜を そのまま残す) | 有り (スルー酸化膜を そのまま残す) | 有り (スルー酸化膜除去後 CVD法にて100nm堆積) |
| アニール雰囲気 | 窒素雰囲気酸素 含有率100ppm以下 | 酸素含有窒素 雰囲気*1 | 酸素含有窒素 雰囲気 | 酸素含有窒素 雰囲気 |
| ボロン注入条件 0.5keV $5 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ | 663.7 | 746.9 | 2373.0 | 675.3 |
| 1keV $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ | 311.5 | 340.5 | 464.8 | |
| 2keV $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ | 232.7 | 231.7 | 258.3 | |
| 5keV $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ | 102.0 | | 99.3 | 108.9 |

表中の数字は、ウェハ面内49点のシート抵抗値 (Ω/\square) の平均値をいう。

*1 酸素含有窒素雰囲気とは、100ppmを超える酸素を含む窒素雰囲気をいう。

【0007】さらに、ボロンまたはボロン系の化合物のイオン注入を行う場合、シリコン基板上にシリコン酸化膜が存在した状態でアニールを行うと、アニール時にボロンの拡散が進み、接合深さが設計値よりも深くなってしまうという問題があった。この現象を以下、「増速拡散」と称する。増速拡散の起こるメカニズムについてはこれまで明らかにされていなかったが、ボロンまたはボロン系の化合物のイオン注入時に特異的に起こる現象であることが確認されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】以上、説明したように、不純物拡散層を形成した際のシート抵抗値の増大は、シリコン基板からシリコン酸化膜中への不純物の偏析に起因することがわかった。そこで、特に浅い接合深さの不純物拡散層を形成するプロセスでは、イオン注入工程の前処理として基板表面の酸化膜を除去した後、イオン注入を行う方法が既に採用されている。この前処理は、具体的には、表面に自然酸化膜が形成されたウェハをフッ酸槽内でディップし、水洗後、乾燥することにより自然酸化膜を除去するというものである。

【0009】ところが、実際の製造ラインでは、製品の流れや装置上、作業上の都合等によって前処理を終了してからイオン注入を開始するまでの待ち時間が数時間にわたることもある。待ち時間が数時間になると、前処理によってせっかく酸化膜を除去しても、数nm程度の自然酸化膜が再度形成されてしまうため、やはり不純物の偏析が起こってしまう。また、フッ酸ディップにより酸化膜を除去する方法の場合、使用するフッ酸液中に不純物や異物等が含まれている恐れもあり、その場合、基板のコンタミネーションが生じることになる。また、この工程は湿式処理であるから、洗浄、乾燥等に要する時間や処理設備が必要であり、製造ラインの生産効率が低下するという点で問題があった。

【0010】なお、特開平7-122616号公報には、半導体基板の保管や搬送の際に生じる粒子汚染や自然酸化膜の形成等の問題を解決するために、例えば湿式洗浄装置（大気圧下処理装置）とスパッタリング装置（真空プロセス装置）との間に真空保管庫を配置し、これらを真空トンネル搬送装置で連結した半導体製造装置が開示されている。ただし、この半導体製造装置においては、スパッタリング等の本処理工程の前処理として湿式洗浄を適用しているため、上記基板のコンタミネーションの問題、生産性低下の問題は避けることができない。

【0011】一方、イオン注入後のアニールに関しては、従来から種々のアニール装置が用いられているが、近年、ランプからの放射光をウェハに照射することによって急速熱処理（Rapid Thermal Processing、以下、RTPと記す）を行う装置が多用されている。このRTP装置は、従来一般の熱アニール装置などと比べて極めて短時間に高温の処理が行える点で微細化プロセスに適した優れたものであるが、この装置を用いたとしても、アニールを行う際に基板表面にある程度の酸化膜が存在している限り、不純物の偏析によるシート抵抗値の増大の問題は同じように発生する。

【0012】本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであり、前処理として湿式洗浄を用いたときのような基板のコンタミネーションを発生させることなく、シリコン酸化膜中への不純物の偏析に起因する不純物拡散層のシート抵抗値の増大を抑制することができ、特に、浅い接合深さの不純物拡散層を有する半導体デバイスに用いて好適な半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。さらに、この不純物拡散層の形成に用いる装置であり、製造ラインの生産性の向上に寄与し得る不純物注入装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明の第1の半導体装置の製造方法は、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、シリコン酸化膜を薄膜化する前処理工程と、前処理工程を経た後のシリコン基板に対して薄膜化したシリコン酸化膜を通して不純物イオンを注入するイオン注入工程と、イオン注入工程を経た後、表面にシリコン酸化膜が残ったシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とするものである。

【0014】本発明の第2の半導体装置の製造方法は、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、シリコン酸化膜を除去する前処理工程と、前処理工程を経た後のシリコン基板に対して直接不純物イオンを注入するイオン注入工程と、イオン注入工程を経た後、表面が露出した状態のシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とするものである。

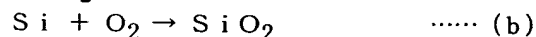
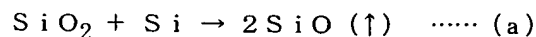
【0015】本発明の第3の半導体装置の製造方法は、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して水素ベーク装置を用いて水素ガスを含むガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、シリコン酸化膜を薄膜化する前処理工程と、前処理工程を経た後のシリコン基板に対して薄膜化したシリコン酸化膜を通して不純物イオンを注入するイオン注入工程と、イオン注入工程を経た後、表面にシリコン酸化膜が残ったシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とするものである。

【0016】本発明の第4の半導体装置の製造方法は、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して水素ベーク装置を用いて水素ガスを含むガス雰囲気中で熱処理を行うことにより、シリコン酸化膜を除去する前処理工程と、前処理工程を経た後のシリコン基板に対して直接不純物イオンを注入するイオン注入工程と、イオン注入工程を経た後、表面が露出した状態のシリコン基板に対して熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行うことによって、不純物イオンを活性化処理するアニール工程とを有することを特徴とするものである。

【0017】従来、イオン注入工程の前処理としてシリコン酸化膜の除去を行う場合には、フッ酸ディップ等のウェットエッチングを行うのが普通であり、この場合、上述したように、基板のコンタミネーション、生産性の

低下等の問題が発生した。これに対して、本発明者は、特定のガス雰囲気中で熱処理によって酸化膜のエッチングが可能であることに着目した。ここで用いることができる熱処理法の一つは、熱処理装置を用いて酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う方法（上記本発明の第1または第2の半導体装置の製造方法）であり、他の一つは、水素ベーク装置を用いて水素ガスを含むガス雰囲気中で熱処理を行う方法（上記本発明の第3または第4の半導体装置の製造方法）である。

【0018】酸素ガスを含む雰囲気中で熱処理を行う方法において、シリコン酸化膜が除去されるメカニズムは次のようなものと考えられる。表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して、酸素分子の存在下で高温の熱処理を施すと、以下の2つの反応が並行して進行する。



ところが、酸素濃度が十分に低い領域、もしくは真真空度が高い領域で熱処理を行うと、(b)の反応よりも

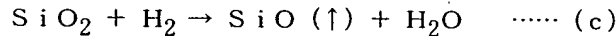
(a)の反応の方が支配的となり、シリコンとシリコン酸化膜の界面で発生するSiOが基板表面から揮発し、シリコン酸化膜がエッチングされる。一方、酸素濃度が高い領域、もしくは真真空度が低い領域で熱処理を行った場合でも(a)の反応は起こっており、表面のシリコン酸化膜はエッチングされているが、それ以上に(b)の反応が多く起こるために表面のシリコン酸化膜は随時補充されており、見かけ上、酸化膜のエッチング作用がないように見えるのである。

【0019】上記(a)、(b)のいずれの反応が支配的になるのかを決定するパラメータとしては、熱処理時の温度、真真空度、酸素濃度（酸素分子の数）が考えられる。この中で、真真空度を高めることは酸素分子の数を減らすことにつながるため、この場合、(a)の反応の方が支配的となるのは勿論である。それに加えて、真真空度と温度との間には相関関係があり、真真空度を高めると

(a)の反応が生じる温度が低下する傾向にある。図10は、酸素濃度を一定にした時の熱処理時の温度と真真空度との関係を模式的に示すものである。この図に示すように、曲線の右側の領域（真真空度が高い側、温度が高い側）が「酸化膜のエッチングが生じて見える領域」であり、曲線の左側の斜線で示す領域（真真空度が低い側、温度が低い側）が「酸化膜のエッチングが生じないように見える（酸化膜が成長する）領域」である。また、酸素濃度を大きくすると、曲線全体が図の右側に向けてシフトする。

【0020】つまり、(a)の反応を支配的として酸化膜がエッチングされるようにするには、図10の斜線で示す領域内の条件で熱処理を行えばよいことになる。この関係からすると、酸素濃度一定の場合、真真空度を高くするほど熱処理温度が低くてよいことになる。ちなみ

に、常圧で熱処理を行う場合、エッチングが生じ始めるのは、温度が1100℃の時で酸素濃度が200ppm、温度が1050℃の時で酸素濃度が33ppmであり、温度を1000℃にまで下げると酸素濃度は限りなく零に近づいてしまい、酸素濃度が制御できないためにエッチングはほとんど不可能になる。このようなメカニズムによって、酸素ガスを含む雰囲気中で上記のパラメ



この反応により、シリコン酸化膜の表面で発生するSiOが揮発し、シリコン酸化膜がエッチングされる。

【0022】上記のようなメカニズムによって、水素ガスを含む雰囲気中で熱処理を行えば、シリコン酸化膜を除去することができる。

【0023】したがって、本発明の半導体装置の製造方法においては、イオン注入前処理の酸化膜エッチングにウェットエッチングのような湿式処理を用いないため、液中に含まれる不純物や異物に起因するコンタミネーションの問題、後洗浄、乾燥等の作業時間や処理設備に起因する生産性低下の問題等、従来技術が抱えていた問題点を解決することができる。

【0024】また、本発明者は、上記2つの酸化膜の除去方法のうち、特に、酸素ガスを含む雰囲気中で熱処理を行う前者の方法は、従来から実施していたイオン注入後のアニール処理と類似しており、アニール装置と共通の装置が使用できることに想到した。そこで、イオン注入の前処理工程で用いる熱処理装置とアニール工程で用いる熱処理装置を同一の装置を用いることができる。このようにすれば、製造ライン内に元来アニール工程用として設置してある熱処理装置（アニール装置）をイオン注入前処理用装置に転用することができる。その結果、製造ライン内の装置の有効利用を図ることができ、装置の稼動状況等に応じて作業の効率化を図ることができる。

【0025】また上述したように、前処理工程で用いる熱処理装置としては、常圧型装置、減圧型装置のいずれを用いてもよい。ただし、常圧型装置を用いようとする、熱処理温度を例えば1200℃以上というようになり高くしなければならないか、熱処理温度をこれより低くした場合には酸素濃度を十分に小さくしなければならない。従来一般の常圧型熱処理装置は、反応室内でのガス流量や酸素混合量は制御可能であるが、装置の構造上、ウェハの出し入れの際に反応室内への大気の巻き込みがあり、酸素濃度を低く制御するのは困難な場合がある。その点からすると、減圧型熱処理装置の使用が好ましい。

【0026】近年、高集積度の半導体デバイスの製造工程において、浅い接合深さを持つ不純物拡散層を形成する際に、イオン注入後の熱処理が短時間で済む急速熱処理装置（RTP装置）が用いられている。RTP装置とは、ランプ、白熱線等からの放射光をウェハに照射する

ータを制御しながら熱処理を行えば、シリコン酸化膜を除去することができる。

【0021】次に、水素原子を含む雰囲気中で熱処理を行う方法において、シリコン酸化膜が除去されるメカニズムは次のようなものと考えられる。表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコン基板に対して、水素分子の存在下で高温の熱処理を施すと、以下の反応が進行する。

ことによって急速に熱処理が行える装置であり、具体的にはハロゲンランプアニール装置、アークランプアニール装置、グラファイトヒータアニール装置等が挙げられる。また、従来一般のRTP装置は常圧型のものが主流であったが、最近、減圧型のRTP装置が提供されるようになった。本発明におけるイオン注入の前処理工程に用いる熱処理装置としては、特に微細化プロセスに適用するには、この減圧型RTP装置が最適である。ただし、他の一般のアニール装置を用いることも勿論可能である。

【0027】ところで、イオン注入の前処理として基板表面のシリコン酸化膜をエッチングする際には、シリコン酸化膜が薄く残ってもよいし（上記本発明の第1または第3の半導体装置の製造方法）、シリコン酸化膜を完全に除去してもよい（上記本発明の第2または第4の半導体装置の製造方法）。

【0028】ただし、シリコン酸化膜を残す場合には、その膜厚を2.5nm以下とし、イオン注入時の加速エネルギーを3keV以下とするのが望ましい。これにより、浅い不純物拡散層を形成することができる。また、このようにすれば、アニール時に基板上に存在するシリコン酸化膜の膜厚も2.5nm以下となる。この程度の膜厚であれば、たとえシリコン酸化膜が存在しても、不純物の偏析が問題になることはなく、不純物濃度の低下に伴うシート抵抗の低下を防止することができる。

【0029】さらに、本発明者は、イオン注入時に残せるシリコン酸化膜の膜厚の限界について検討を加え、不純物の種類毎にイオン注入時の加速エネルギーとシリコン酸化膜厚の限界値の関係を明らかにした。これら

(1)～(3)式の根拠については、後述する。

【0030】例えば砒素イオンの場合、イオン注入工程において、下記(1)式で表される膜厚dのシリコン酸化膜を通して、砒素イオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することが望ましい。

$$d \leq V / 1.3 \quad \cdots \cdots (1)$$

(d：シリコン酸化膜の膜厚(nm)、V：加速エネルギー(keV))

【0031】ボロンイオンの場合、イオン注入工程において、下記(2)式で表される膜厚dのシリコン酸化膜を通して、ボロンイオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することが望ましい。

$$d \leq V / 0.75 \quad \cdots \cdots (2)$$

(d : シリコン酸化膜の膜厚 (nm)、 V : 加速エネルギー (keV))

【0032】フッ化ボロンイオンの場合、イオン注入工程において、下記(3)式で表される膜厚 d のシリコン酸化膜を通して、フッ化ボロンイオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することが望ましい。

$$d \leq V / 1.0 \dots\dots (3)$$

(d : シリコン酸化膜の膜厚 (nm)、 V : 加速エネルギー (keV))

【0033】一方、シリコン酸化膜を完全に除去し、基板表面が露出した状態でイオン注入を行う場合においても、不純物イオンを3keV以下の加速エネルギーで注入することにより、イオン注入時に基板表面にダメージが発生するのを防止することができる。

【0034】また、アニール条件に関して言えば、基板表面が露出した状態でアニールを行う場合には、熱処理を酸素含有量100ppm以下の窒素雰囲気中で行うことが望ましい。このように酸素含有量を十分に抑えた条件でアニールを行うと、アニール時に基板表面にシリコン酸化膜が形成されるのが抑制され、不純物の偏析を防止することができる。さらに、アニールを1000℃～1100℃の温度で行うことが望ましい。これにより、アニール時の基板表面の荒れを防止することができる。

【0035】ところで、本発明における「不純物イオン」とは、ボロン、フッ化ボロン、砒素、リン等、拡散層形成に通常用いられるイオンのことである。不純物イオンとして、特にボロンまたはフッ化ボロンを用いた場合には、シリコン酸化膜を完全に除去し、基板表面が露出した状態でアニールを行うことが望ましい。ボロン系の不純物を注入する場合、偏析によるシート抵抗値の増大の他に、増速拡散の問題があるからである。

【0036】増速拡散の現象について図11～図14を用いて説明する。図11は、シリコン基板に対して酸化膜を通さずに直接ボロンをイオン注入した後、基板表面を露出したままの状態、もしくは基板表面に再度カバー酸化膜を形成した状態でアニールを行った場合のボロンの深さ方向の濃度分布を測定したものである。カバー酸化膜の有無の各々の場合に対して、アニール雰囲気を窒素100%（ただし、100ppm以下の酸素を含有する）とした場合、窒素90%、酸素10%とした場合の計4仕様で作製した試料に対して測定を行った。ボロン濃度の測定は2次イオン質量分析法(SIMS)により行った。イオン注入の加速エネルギーは0.5keVとし、注入イオン濃度は $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ とした。なお、図11の横軸は、原点を基板表面とした基板の深さ方向の位置を示している。

【0037】また、図12～図14は、不純物の種類を変えてイオン注入の加速エネルギーと増速拡散距離との関係を調べたものである。図12はボロン、図13はフッ化ボロン、図14は砒素を用いたものである。

【0038】図12～図14に示された結果から、以下の知見が得られる。

- ① 増速拡散は、ボロン系の不純物を用いた場合に起こる。
- ② 増速拡散は、基板表面にカバー酸化膜が存在する場合に起こる。
- ③ カバー酸化膜が存在しない場合でも、アニールを酸素含有雰囲気中で行った場合には、増速拡散が起こる。
- ④ 増速拡散は、加速エネルギーが小さい場合（注入深さが浅い場合）に、特に顕著となる。したがって、ボロン系の不純物を用いる場合は、カバー酸化膜を形成せず、また、酸素を含有しない雰囲気中でアニールを行うことが好ましく、これにより、増速拡散を効果的に抑制することができる。

【0039】上述したように、増速拡散は加速エネルギーが小さい場合（注入深さが浅い場合）に、特に顕著となる。その理由については必ずしも明らかではないが、本発明者は以下のように推察している。

【0040】図15は、増速拡散が起こる機構を説明するための図である。一般に、イオン注入が行われた後、シリコン基板中には点欠陥が生じる。この点欠陥は、アニールにより基板表面方向へ移動する。ここで、注入深さが浅い場合、図15(a)に示すように、点欠陥層30は基板4の表面に到達して消滅する。ところが、アニール時にカバー酸化膜が存在すると、図15(b)に示すように、点欠陥層30は、カバー酸化膜31に邪魔されて基板4の表面に到達することができず、基板4中に残存することになる。そして、点欠陥が残存する基板中では不純物の拡散が速くなるために、増速拡散が起こるものと考えられる。

【0041】一方、注入深さが深い場合は、図15

(c)に示すように、点欠陥層30の位置から基板4の表面までの距離が長い場合、カバー酸化膜が存在しなくても点欠陥層30は基板4の表面に到達することができず、基板4中に残存することになる。このため、カバー酸化膜の有無による拡散距離の差が発生せず、増速拡散が起こらないと考えられる。なお、この現象がボロン系のイオン注入の場合に特異的に起こる原因は不明であり、これらの不純物では点欠陥の存在による増速拡散が大きい、ということがわかっているのみである。

【0042】本発明の不純物注入活性化処理装置は、酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中の減圧下で被処理基板に対して熱処理を行うRTP装置と、減圧下で被処理基板に対してイオン注入を行うイオン注入装置と、RTP装置とイオン注入装置との間を連結し、これら装置間で被処理基板を減圧状態を維持したまま搬送する基板搬送部とを有することを特徴とするものである。

【0043】また、本発明の他の不純物注入活性化処理装置は、水素ガスを含むガス雰囲気中の減圧下で被処理基板に対して熱処理を行う水素バーク装置と、減圧下で

被処理基板に対してイオン注入を行うイオン注入装置と、酸素ガスを含む不活性ガス雰囲気中の減圧下で被処理基板に対して熱処理を行うRTP装置と、水素ベーク装置とイオン注入装置との間を連結し、これら装置間で被処理基板を減圧状態を維持したままで搬送する第1の基板搬送部と、イオン注入装置とRTP装置との間を連結し、これら装置間で被処理基板を減圧状態を維持したままで搬送する第2の基板搬送部とを有することを特徴とするものである。

【0044】上述したように、本発明の半導体装置の製造方法によれば、イオン注入工程の前処理にアニール工程用のRTP装置を転用することができ、装置の有効利用を図ることができる。ところが、RTP装置とイオン注入装置がそれぞれ別体の装置であると、RTP装置で前処理を終わったウェハをイオン注入装置に搬送する間でウェハが大気に触れ、自然酸化膜が形成されることになる。すると、結局、酸化膜が付いた状態でイオン注入が行われることになり、好ましくない。また、自然酸化膜の形成を防止しようとする、ウェハの出し入れが難しくなったり、待ち時間の間、真空保管庫に保管する等の面倒が生じる。

【0045】これに対して、本発明の不純物注入活性化処理装置は、減圧型のRTP装置とイオン注入装置とを備え、減圧状態でウェハを搬送する機能を有する基板搬送部でこれら装置間を連結した構成とした。この構成により、前処理が終わったウェハが大気に触れることなく、基板搬送部を通してイオン注入装置内に導入されるため、ウェハ上に自然酸化膜が形成されることがない。また、イオン注入後のウェハは、基板搬送部を通して再度RTP装置内に導入され、アニールを行うことができる。したがって、イオン注入終了後からアニール開始までの間でも、自然酸化膜が形成されることがない。このように、本装置は、処理中一度も大気に触れることなく、前処理（酸化膜エッチング）、イオン注入、アニールを一貫処理することができ、本発明特有の不純物拡散層の形成を理想的に実現することができる。また、全体が非常にコンパクトな装置となり、クリーンルーム内の省スペース化に寄与することもできる。

【0046】また、前処理用として水素ベーク装置、アニール用としてRTP装置を備え、これら装置とイオン注入装置との間を減圧搬送可能な第1の基板搬送部、第2の基板搬送部で連結する構成としてもよい。この場合も、上記の装置と同様の効果を得ることができる。

【0047】

【発明の実施の形態】
[第1の実施の形態]
以下、本発明の第1の実施の形態を図1、図2を参照して説明する。図1は本実施の形態の半導体装置の製造方法を説明するための工程断面図である。本実施の形態は不純物拡散層の形成に係わる工程のみを示しており、種々の半導体デバイスの製造プロセスに適用することが可能であ

る。また、図2は本実施の形態で用いる製造装置を示すものであり、符号1は減圧型RTP装置、2はイオン注入装置、3は常圧型RTP装置である。

【0048】本実施の形態の不純物拡散層の形成方法は、イオン注入前の前処理工程として減圧型RTP装置1を用いて、図1(a)に示すように、シリコン基板4に熱処理を施し、それ以前に表面に形成されているシリコン酸化膜5の膜厚 t が2.5nm以下になるように薄膜化する。この減圧型RTP装置1は、通常は製造ライン内でアニール工程用として使用されている装置である。

【0049】本実施の形態で用いる減圧型RTP装置1は、図2に示すように、1つの反応室7と1つのロードロック室8が設けられた1チャンバータイプの装置である。反応室7の内部には、ウェハを保持するステージ（図示略）、ハロゲンランプ等の加熱源（図示略）等が設置されている。また、反応室7は、真空ポンプ（図示略）により任意の真空度に減圧可能であるとともに、導入する窒素ガスの流量が調節可能となっている。さらに、窒素ガス中の酸素の含有量は下限が20ppm～30ppm程度まで制御可能となっている。よって、この反応室7内において、微量の酸素を含む窒素雰囲気中の減圧下でウェハの加熱が行えるようになっている。また、ロードロック室8の側方にはウェハ保管室9が設けられ、搬送ロボット10によりローダ・アンローダ用治具11とロードロック室8との間でウェハの搬出入が行われる。

【0050】本実施の形態の場合、この前処理工程での熱処理条件は、温度を800℃～900℃程度、真空度を 10^{-7} Torr～ 10^{-4} Torr、酸素濃度を100ppm～10%、時間を60秒～300秒、とする。

【0051】次に、図1(b)に示すように、前処理終了後、表面に膜厚2.5nm以下のシリコン酸化膜5が形成されたシリコン基板4に対して、図2に示すイオン注入装置2を用い、3keV以下の加速エネルギーで不純物イオンを注入する。ここでは、前処理終了後からイオン注入作業開始までの待ち時間は短時間であって、この間での自然酸化膜の成長はなく、イオン注入時のシリコン酸化膜厚は依然として2.5nm以下が保たれているものとする。ここで用いる不純物イオンは、ボロン、フッ化ボロン、砒素、リン等、通常のp型またはn型拡散層の形成に用いるイオンとする。イオンドーズ量に関しては、所望のシート抵抗に合わせて適宜設定すればよい。なお、図2に示すイオン注入装置2は、イオン生成室12、質量分析室13、エンドステーション14等を備えたごく一般的なものである。

【0052】次に、図1(c)に示すように、イオン注入後のシリコン基板4に対して、表面のシリコン酸化膜5を残したままの状態、図2に示す常圧型RTP装置3を用いてアニールを行う。このアニールにより、不純

物イオンが拡散され、イオン注入時に生じた結晶欠陥が回復し、イオンの活性化処理がなされる。以上の工程により、シリコン基板4の表面に不純物拡散層15が形成される。ここでも、イオン注入終了後からアニール開始までの待ち時間は短時間であって、自然酸化膜の成長はなく、アニール時のシリコン酸化膜厚は依然として2.5 nm以下が保たれているものとする。

【0053】図2に示す常圧型RTP装置3は、前面に開閉扉16aを有する反応室16とウェハ保管室17とを有しており、搬送ロボット18によりローダ・アンローダ用治具(図示略)と反応室16との間でウェハの搬出入が行われる。反応室16の内部には、ウェハを保持するステージ(図示略)、ハロゲンランプ等の加熱源(図示略)等が設置され、導入窒素ガスの流量および窒素ガス中に含有する酸素の混合量が調節可能となっている。よって、この反応室16内において、酸素を含む窒素雰囲気中でウェハの加熱が行えるようになっている。

【0054】本実施の形態の場合、このアニール工程での熱処理条件は、温度を1000℃程度、常圧、酸素濃度を100ppm~1000ppm、時間を1.0秒程度、とする。

【0055】本実施の形態の半導体装置の製造方法においては、イオン注入前処理の酸化膜エッチングにウェットエッチングを用いないため、エッチング液中に含まれる不純物や異物に起因するコンタミネーションの問題、後洗浄、乾燥作業の時間や処理設備に起因する生産性低下の問題等を解消することができる。また、本実施の形態の方法は、イオン注入時、アニール時ともにシリコン酸化膜5を残す方法であるが、シリコン酸化膜厚 t を2.5 nm以下とし、イオン注入時の加速エネルギーを3 keV以下としているため、不純物の偏析によるシート抵抗の低下が生じることなく、所望のシート抵抗値を有する浅い接合深さの不純物拡散層15を形成することができる。

【0056】さらに、本実施の形態では、前処理に減圧型RTP装置1、アニールに常圧RTP装置3を用いた。製造ライン中にアニール装置としてもともと減圧型RTP装置1と常圧RTP装置3が具備されていたとすると、常圧RTP装置3の方を本来のアニール工程に用い、減圧RTP装置1の方をイオン注入前処理に転用したことにより、製造ライン内の装置の有効利用が図れる。これにより、装置の稼働率が高く、効率的な製造ラインを実現することができる。

【0057】[第2の実施の形態] 以下、本発明の第2の実施の形態を図3、図4を参照して説明する。図3は本実施の形態の半導体装置の製造方法を説明するための工程断面図である。第1の実施の形態が薄いシリコン酸化膜を残した状態でイオン注入、アニールを行う方法であったのに対し、本実施の形態はシリコン酸化膜を完全に除去した状態でイオン注入、アニールを行う方法を例

に挙げて説明する。図4は本実施の形態で用いる製造装置を示すものであり、イオン注入前処理、イオン注入、アニールの3工程の一貫処理が可能な不純物注入活性化処理装置19である。

【0058】本実施の形態の不純物拡散層の形成は、図4に示す不純物注入活性化処理装置19を用いて行われ、イオン注入前処理、イオン注入、アニールの3工程が本装置内で一貫処理される。

【0059】不純物注入活性化処理装置19は、図4に示すように、水素ベーク装置20とイオン注入装置2と減圧型RTP装置1とを備えており、水素ベーク装置20とイオン注入装置2が第1のウェハ搬送室21(第1の基板搬送部)で連結され、イオン注入装置2と減圧型RTP装置1が第2のウェハ搬送室22(第2の基板搬送部)で連結されている。第1、第2のウェハ搬送室21、22はともに、内部にウェハを搬送するためのロボット、ベルト搬送機構等、任意のウェハ搬送手段(図示略)を備えるとともに、真空ポンプ(図示略)により内部が真空排気可能に構成されている。そして、第1のウェハ搬送室21はゲートバルブ23を介して水素ベーク装置20のウェハ保管室25とイオン注入装置2のエンドステーション14の間を連結し、第2のウェハ搬送室22はゲートバルブ23を介してイオン注入装置2のエンドステーション14と減圧型RTP装置1のウェハ保管室9との間を連結している。また、本装置19は制御部(図示略)を備え、オペレータが前処理、イオン注入、アニール時の各条件を設定できるようになっており、スタートスイッチを操作すれば、ウェハが自動的に搬送されて前処理、イオン注入、アニールが順次連続的に行われるようになっている。

【0060】まず最初に、オペレータが処理しようとするウェハを不純物注入活性化処理装置19にセットし、スタートスイッチを操作すると、ウェハが水素ベーク装置20の反応室24内に搬入され、イオン注入の前処理として水素ベーク処理が行われる。ここでは、水素ガス雰囲気中の減圧下でシリコン基板4に熱処理を施し、図3(a)に示すように、それ以前に表面に形成されているシリコン酸化膜を完全に除去する。

【0061】本実施の形態の場合、この前処理工程での水素ベーク処理条件は、温度を950℃程度、真空度を30 Torr程度、時間を5分程度、とする。

【0062】前処理終了後、ウェハは第1のウェハ搬送室21を通してイオン注入装置2内に搬入される。この際、第1のウェハ搬送室21内は所定の真空度に真空排気されており、前処理が終わった後のウェハは減圧状態のままで大気に触れることなく、イオン注入装置2内に搬入される。そして、イオン注入装置2において、図3(b)に示すように、表面が露出したシリコン基板4に対して、3 keV以下の加速エネルギーで不純物イオンを注入する。ここで用いる不純物イオンは、ボロン、フ

ッ化ボロン、砒素、リン等、通常のp型またはn型拡散層の形成に用いるイオンとする。イオンドーズ量に関しては、所望のシート抵抗に合わせて適宜設定すればよい。

【0063】イオン注入終了後、ウェハは第2のウェハ搬送室22を通過して減圧型RTP装置1内に搬入される。この際、第2のウェハ搬送室22内は所定の真空度に真空排気されており、イオン注入終了後のウェハは減圧状態のまま大気に触れることなく、減圧型RTP装置1内に搬入される。そして、減圧型RTP装置1において、図3(c)に示すように、イオン注入後のシリコン基板4に対して、表面が露出したままの状態アニールを行う。このアニールにより、不純物イオンが拡散され、活性化処理がなされる。以上の工程により、シリコン基板4の表面に不純物拡散層15が形成される。

【0064】本実施の形態の場合、このアニール工程での熱処理条件は、温度を1000℃程度、真空度を 10^{-4} Torr程度、酸素濃度を10%程度、時間を10秒程度とする。

【0065】本実施の形態の半導体装置の製造方法においても、ウェット処理に伴う基板のコンタミネーションや生産性低下の問題を解消できる、という第1の実施の形態と同様の効果を奏することができる。また、前処理(酸化膜エッチング)、イオン注入、アニールが一貫して不純物注入活性化処理装置19の内部で行われ、これら3つの工程の処理の間、ウェハが全く大気に触れることがない。したがって、表面が完全に露出したシリコン基板4であっても、表面に自然酸化膜が形成される恐れが全くない。よって、シリコン酸化膜中への不純物の偏析によるシート抵抗の低下が生じることなく、所望のシート抵抗値を有する浅い接合深さの不純物拡散層を形成することができる。

【0066】また、本実施の形態の方法では、カバー酸化膜を形成せず、さらに酸素濃度は10%であっても減圧下でアニールを行っているため、ボロン系の不純物をイオン注入する場合であっても、増速拡散を効果的に抑制することができる。

【0067】さらに、本実施の形態では、イオン注入前処理、イオン注入、アニールの3工程の一貫処理が可能な不純物注入活性化処理装置19を使用したことにより、これらの工程に個別の処理装置を用いていた従来の場合に比べて、装置の占有面積を大きく削減することができる。クリーンルーム内の省スペース化に寄与することができる。

【0068】[第3の実施の形態]以下、本発明の第3の実施の形態を図1、図5を参照して説明する。本実施の形態の半導体装置の製造方法は、第1の実施の形態と同様、薄いシリコン酸化膜を残した状態でイオン注入、アニールを行う方法である。そして、使用装置に関しては、第2の実施の形態で用いた装置が、水素ベーク装

置、イオン注入装置、減圧RTP装置を連結した装置であったのに対し、本実施の形態で用いる製造装置は、図5に示すように、減圧RTP装置とイオン注入装置のみを連結した装置である。この装置も、第2の実施の形態の装置と同様、イオン注入前処理、イオン注入、アニールの3工程の一貫処理が可能な不純物注入活性化処理装置26である。

【0069】本実施の形態の不純物注入活性化処理装置26は、図5に示すように、減圧型RTP装置1とイオン注入装置2を備えており、減圧型RTP装置1のウェハ保管室9とイオン注入装置2のエンドステーション14がゲートバルブ27を介してウェハ搬送室28(基板搬送部)で連結されている。ウェハ搬送室28は、内部にロボット、ベルト搬送機構等、双方向にウェハの搬送が可能な任意のウェハ搬送手段(図示略)を備えるとともに、真空ポンプ(図示略)により内部が真空排気可能に構成されている。また、本装置26は制御部(図示略)を備え、オペレータが前処理、イオン注入、アニール時の各条件を設定できるようになっており、スタートスイッチを操作すれば、ウェハが自動的に搬送されて前処理、イオン注入、アニールが順次連続的に行われるようになっている。

【0070】まず最初に、オペレータが処理しようとするウェハを不純物注入活性化処理装置26にセットし、スタートスイッチを操作すると、ウェハが減圧型RTP装置1の反応室7に搬入され、イオン注入の前処理として微量の酸素ガスを含む窒素ガス雰囲気中の減圧下で熱処理が行われる。本実施の形態の場合、この前処理工程での熱処理条件は、温度を800℃~900℃程度、真空度を 10^{-7} Torr~ 10^{-4} Torr、酸素濃度を1000ppm~10%、時間を60秒~300秒、とする。この熱処理により、図1(a)に示すように、シリコン基板4表面のシリコン酸化膜5はその膜厚 t が2.5nm以下となる。

【0071】前処理終了後、ウェハはウェハ搬送室28を通過してイオン注入装置2内に搬入される。この際、ウェハ搬送室28内は所定の真空度に真空排気されており、前処理終了後のウェハは減圧状態のまま大気に触れることなく、イオン注入装置2内に搬入される。そして、イオン注入装置2において、図1(b)に示すように、シリコン基板4に対して、膜厚2.5nmのシリコン酸化膜5を通して3keV以下の加速エネルギーで不純物イオンを注入する。ここで用いる不純物イオンは、ボロン、フッ化ボロン、砒素、リン等、通常のp型またはn型拡散層の形成に用いるイオンとする。イオンドーズ量に関しては、所望のシート抵抗に合わせて適宜設定すればよい。

【0072】イオン注入終了後、ウェハはウェハ搬送室28を通過して減圧型RTP装置1内に再度搬入される。この際にも、ウェハ搬送室28内は所定の真空度に真空

排気されており、イオン注入終了後のウェハは減圧状態のまま大気に触れることなく、減圧型RTP装置1内に搬入される。そして、減圧型RTP装置1において、図1(c)に示すように、イオン注入後のシリコン基板4に対して、膜厚2.5nmのシリコン酸化膜5が表面に形成された状態でアニールを行う。このアニールにより、不純物イオンが拡散され、イオンの活性化処理がなされる。以上の工程により、シリコン基板4の表面に不純物拡散層15が形成される。

【0073】本実施の形態の場合、このアニール工程での熱処理条件は、温度を1000℃程度、真空度を 10^{-4} Torr程度、酸素濃度を10%程度、時間を10秒程度とする。

【0074】本実施の形態の半導体装置の製造方法においても、ウェット処理に伴う基板のコンタミネーションや生産性低下の問題を解消できる、前処理（酸化膜エッチング）、イオン注入、アニールが一貫して不純物注入活性化処理装置26の内部で行われウェハが大気に触れないため、基板表面に自然酸化膜が成長せず、不純物の偏析によるシート抵抗の低下が生じることがない、といった第1、第2の実施の形態と同様の効果を奏することができる。

【0075】さらに、本実施の形態では、減圧型RTP装置1とイオン注入装置2のみを連結した不純物注入活性化処理装置26を使用し、減圧型RTP装置1が前処理とアニールを兼用する構成としたことによって、第2の実施の形態で用いた装置と比べて、さらなる装置の小型化を図ることができる。

【0076】なお、本発明の技術範囲は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。例えば上記実施の形態で提示した減圧型RTP装置は1チャンバタイプであったが、2チャンバタイプの装置を用いてもよい。また、各工程の具体的な処理条件等に関しては、上記実施の形態に限ることなく、適宜変更が可能なことは勿論である。

【0077】

【実施例】[実施例1] ここで、本発明の半導体装置の製造方法によりシート抵抗値の増大を抑制できる効果について実際に検証した。その結果について説明する。

【0078】まず、シリコンウェハの表面に膜厚2.5nmのシリコン酸化膜を形成した。この際には、膜厚2.5nm以上の自然酸化膜が形成されたウェハを用意し、このウェハに第1の実施の形態に示す方法、すなわち減圧型RTP装置を用いてシリコン酸化膜のエッチングを行う方法により、シリコン酸化膜をほぼ2.5nmの膜厚とした。

【0079】次に、ウェハ表面のシリコン酸化膜を通してボロンをイオン注入した。イオン注入の条件は、加速エネルギーを2keV、注入イオン濃度を $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ とした。

イオン注入後、シリコン酸化膜を残したまま、減圧型RTP装置を用いてアニールを行った。アニール雰囲気は酸素含有量100ppm以下の窒素雰囲気下とし、温度プロファイルは以下のようにした。昇温開始温度を室温として10秒間で500℃まで昇温し、30秒間保持した後、10秒間で1000℃まで昇温し、10秒間保持した後、急冷（通常、100℃/秒～150℃/秒）した。以上により、シリコンウェハ表面に不純物拡散層を形成した。

【0080】上記シリコンウェハの面内の49点についてシート抵抗を測定し、平均値を算出したところ、 $231.7 \Omega/\square$ であった。一方、上記と同じ手順でシリコン酸化膜を形成せずにイオン注入、アニールを行ったウェハでは $232.7 \Omega/\square$ であり、両者の抵抗値は同等であった。すなわち、膜厚2.5nmのシリコン酸化膜を形成することによるシート抵抗値の増大は認められなかった。

【0081】[実施例2] 次に、薄いシリコン酸化膜を残した状態でイオン注入、アニールを行う方法において、不純物の種類毎にイオン注入時の加速エネルギーとシリコン酸化膜厚の限界値の関係を調べた。その結果について、説明する。

【0082】実施例1と同様の手順で、ボロンイオンの加速エネルギー、シリコン酸化膜の膜厚を変えて、シート抵抗値の評価を行った。結果を図6に示す。図中の黒丸は、シリコン酸化膜を設けずにイオン注入およびアニールを行った場合と比較したときのシート抵抗の増大分が1%未満となる条件を示す。このレベルであれば、実用上問題がない。1%を基準とした理由は、プロセスの再現性およびシート抵抗の測定器の精度を考慮したことによる。例えば、図中、加速エネルギー2keV、シリコン酸化膜厚2.5nmの点は黒丸となっているが、これは、シリコン酸化膜を設けなかったこと以外は、イオン注入条件、アニール条件等、他の製造条件を全て同じにして拡散層を形成した試料を基準としたときに、シート抵抗の増分が1%未満であったことを示す（この点の場合は、前述のように、酸化膜無しで $232.7 \Omega/\square$ 、酸化膜有りで $231.7 \Omega/\square$ であった）。

【0083】図6に示された結果から、ボロンを注入する場合、シリコン酸化膜の膜厚dを下記(2)式を満足するように設定すれば、良好なシート抵抗値が得られることがわかった。

$$d \leq V / 0.75 \quad \cdots (2)$$

(d:シリコン酸化膜の膜厚(nm)、V:加速エネルギー(keV))

【0084】上記と同様にして、加速エネルギー、シリコン酸化膜の膜厚とシート抵抗の変動の有無をボロン以外の不純物についても評価した。砒素を用いた場合の結果を図7に、フッ化ボロンを用いた場合の結果を図8に示す。

【0085】図7に示された結果から、砒素を注入する場合、シリコン酸化膜の膜厚 d を下記(1)式を満足するように設定すれば、良好なシート抵抗値が得られることがわかった。

$$d \leq V / 1.3 \quad \cdots (1)$$

(d :シリコン酸化膜の膜厚(nm)、 V :加速エネルギー(keV))

【0086】図8に示された結果から、フッ化ボロンを注入する場合、シリコン酸化膜の膜厚 d を下記(3)式を満足するように設定すれば、良好なシート抵抗値が得られることがわかった。

$$d \leq V / 1.0 \quad \cdots (3)$$

(d :シリコン酸化膜の膜厚(nm)、 V :加速エネルギー(keV))

【0087】また、リンについては特に図示していないが、シリコン酸化膜の膜厚の上限値と加速エネルギーとの間に、上記と同様、一定の関係が存在することは言うまでもない。

【0088】また、カバー酸化膜を設けずに窒素雰囲気中(酸素雰囲気100ppm以下)でアニールを行う場合には、基板表面の荒れを防止するため、アニールを限界時間内で完了することが望ましい。「限界時間」について、以下、図9を参照して説明する。

【0089】図9は、ボロン注入を行った場合の限界時間を示すものである。カバー酸化膜を設けずにボロン注入し、窒素100%雰囲気中でアニールした場合、一定時間が経過すると、ウェハ表面の荒れが発生する。このウェハ表面の荒れが発生するまでの時間を限界時間と称する。図9では加速エネルギー1keV、ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の条件でボロン注入した後、窒素100%雰囲気中でアニールし、アニール前のベアウェハと同等の表面粗さが維持される時間を限界時間としている。ここで、表面粗さはAFM測定における R_a 値をいう。

【0090】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の半導体装置の製造方法によれば、イオン注入前処理の酸化膜エッチングにウェット処理を用いないため、エッチング液中に含まれる不純物や異物に起因するコンタミネーションの問題、後洗浄、乾燥作業の時間や処理設備に起因する生産性低下の問題等を解消することができる。また、薄いシリコン酸化膜を通して、もしくはシリコン酸化膜がない状態で、低い加速エネルギーによるイオン注入とアニールとを行っているため、不純物の偏析によるシート抵抗の低下が生じることなく、所望のシート抵抗値を有する浅い接合深さの不純物拡散層を形成することができる。また、本発明では、元来アニール工程用のRTP装置をイオン注入の前処理に転用することができる。装置の稼働率が高く、効率的な製造ラインを実現することができる。さらに、本発明の不純物注入活性化処理装置の使用により、拡散層形成工程に係わる装置の占

有面積を従来に比べて大きく削減することができ、クリーンルームの省スペース化に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態の半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【図2】 同方法に用いる装置を示す図である。

【図3】 本発明の第2の実施の形態の半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【図4】 同方法に用いる不純物注入活性化処理装置を示す図である。

【図5】 本発明の第3の実施の形態の半導体装置の製造方法に用いる不純物注入活性化処理装置を示す図である。

【図6】 本発明の実施例において、ボロンを注入した場合におけるイオン加速エネルギー、シリコン酸化膜の膜厚とシート抵抗値の変動との関係を示す図である。

【図7】 砒素を注入した場合におけるイオン加速エネルギー、シリコン酸化膜の膜厚とシート抵抗値の変動との関係を示す図である。

【図8】 フッ化ボロンを注入した場合におけるイオン加速エネルギー、シリコン酸化膜の膜厚とシート抵抗値の変動との関係を示す図である。

【図9】 ボロン注入を行ったときのアニール温度と限界時間の関係を示す図である。

【図10】 熱処理による酸化膜エッチングを行う方法において、酸素濃度を一定にした時の熱処理時の温度と真空度との関係を示す図である。

【図11】 ボロンの増速拡散の現象を示す図であり、種々の条件でアニールを行った場合のボロンの深さ方向の濃度分布を測定したグラフである。

【図12】 ボロンを注入した場合における加速エネルギーと増速拡散距離との関係を示す図である。

【図13】 フッ化ボロンを注入した場合における加速エネルギーと増速拡散距離との関係を示す図である。

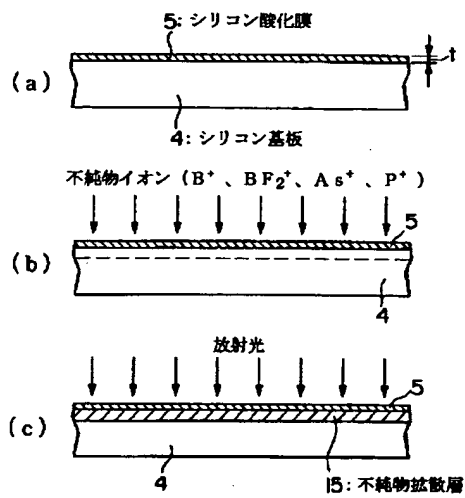
【図14】 砒素を注入した場合における加速エネルギーと増速拡散距離との関係を示す図である。

【図15】 増速拡散が起こる機構を説明するための図である。

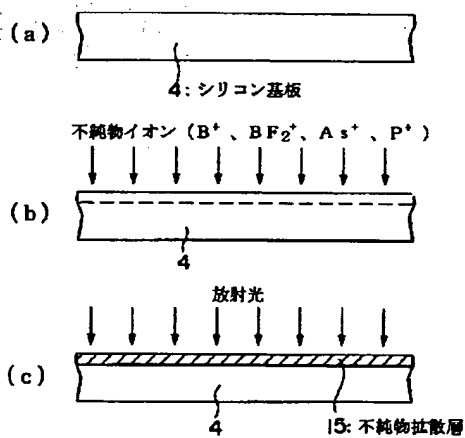
【符号の説明】

- 1 減圧型RTP装置
- 2 イオン注入装置
- 3 常圧型RTP装置
- 4 シリコン基板
- 5 シリコン酸化膜
- 15 不純物拡散層
- 19, 26 不純物注入活性化処理装置
- 20 水素ベーク装置
- 21 第1のウェハ搬送室(第1の基板搬送部)
- 22 第2のウェハ搬送室(第2の基板搬送部)
- 28 ウェハ搬送室(基板搬送部)

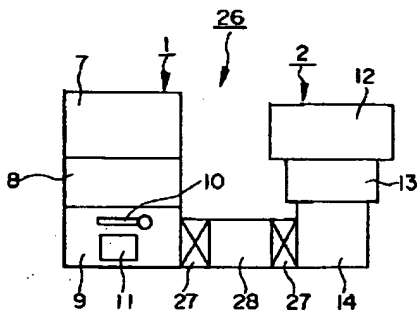
【図1】



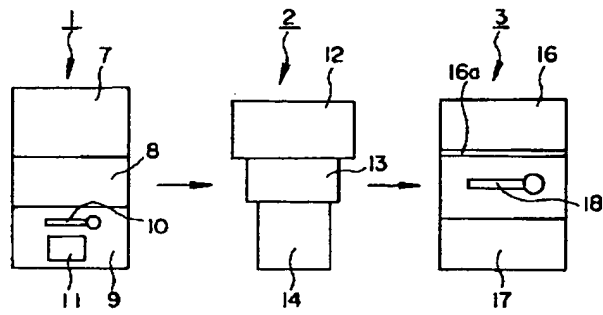
【図3】



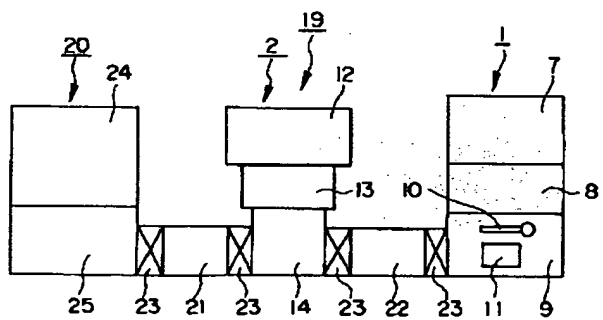
【図5】



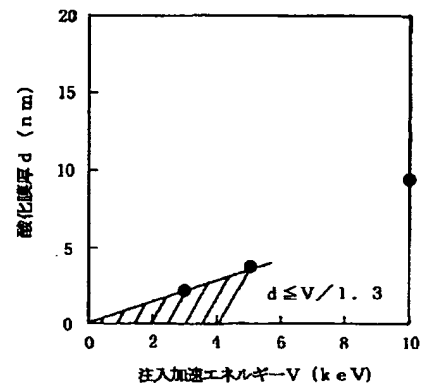
【図2】



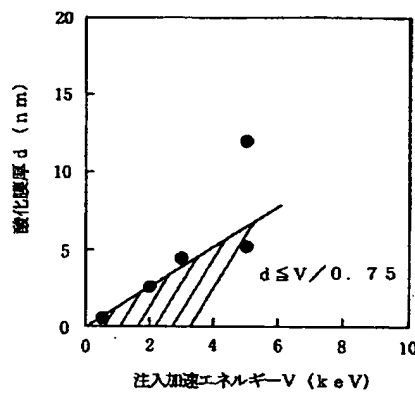
【図4】



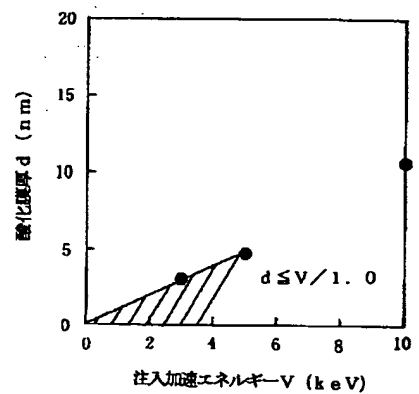
【図7】



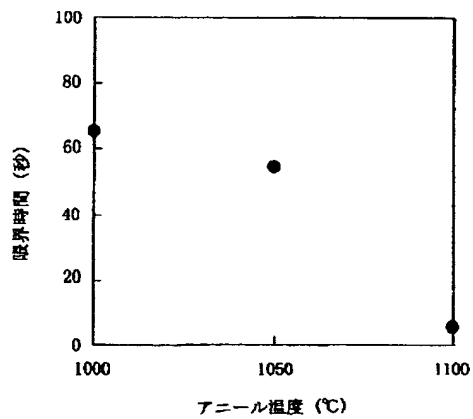
【図6】



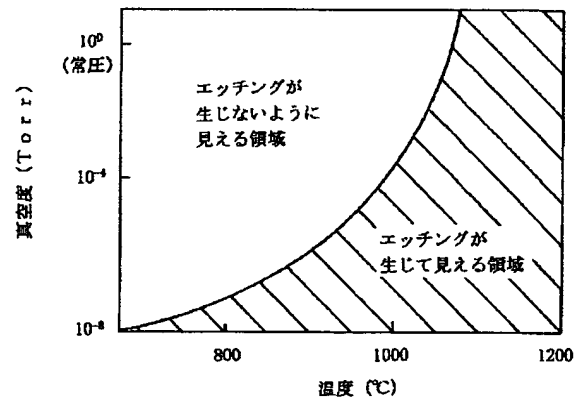
【図8】



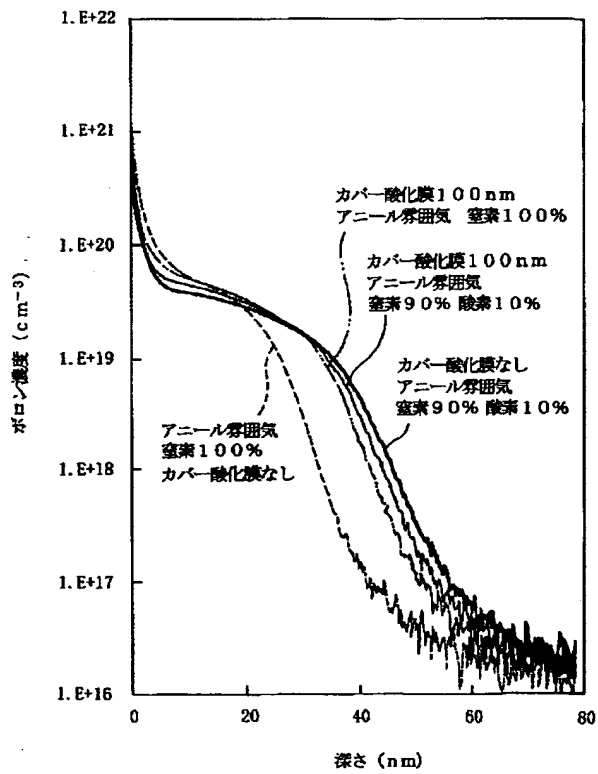
【図 9】



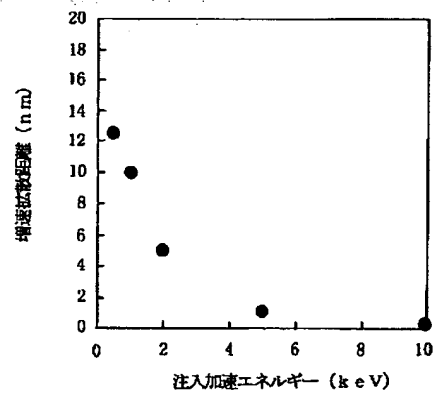
【図 10】



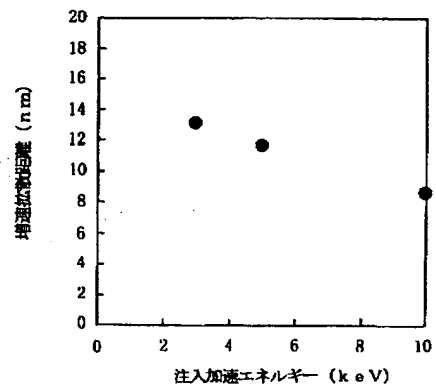
【図 11】



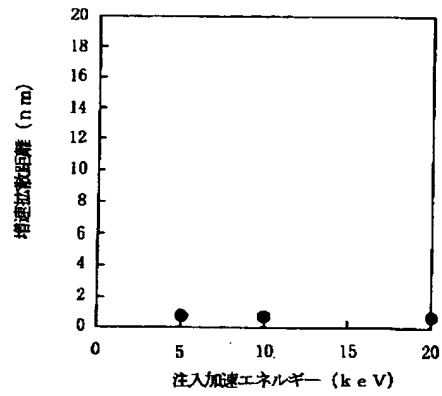
【図 12】



【図 13】



【図14】



【図15】

